

V.4 Los movimientos verticales del agua y sus consecuencias sobre la distribución de algunos elementos disueltos

JORGE QUINTANILLA, CARLOS ARZE

Las variaciones espaciales si bien pueden ser horizontales o verticales, en un lago de las características como el Lago Mayor, que se encuentra estratificado en la mayoría de los meses del año y que, por lo general, se mezcla más o menos completamente por un corto período durante el invierno, sin dejar de reconocer que existen ciertas variaciones horizontales en las concentraciones de algunos elementos disueltos de acuerdo a las características particulares de los lugares de muestreo (por ejemplo, cerca a la desembocadura de los ríos), son de mucho mayor interés. A nivel general, conocer las variaciones y movimientos verticales de los nutrientes que se producen en el transcurso de las estaciones anuales, en razón de la existencia, localización, modificación y destrucción de la termoclina en el metalimnio del lago es importante. Esta termoclina, actuando como una barrera, limita la homogeneización y disponibilidad de los nutrientes para su utilización por los productores primarios en la zona trofógena, la única donde existen condiciones de iluminación suficientes para la realización de la fotosíntesis. En relación con lo mencionado, es asimismo importante estudiar los procesos o mecanismos que influyen en la magnitud de estos movimientos verticales y en la concentración de estos nutrientes.

Estratificación física de las aguas

La regulación hídrica indica que las transferencias anuales de las aguas en el Titicaca son muy débiles en relación a su volumen, es por esta razón que no se puede esperar movimientos longitudinales (horizontales) importantes, en cambio, en un lago tan grande existen movimientos verticales de gran amplitud.

La mezcla de las aguas está controlada por 2 factores :

- los vientos, que provocan directa e indirectamente las corrientes de turbulencias ;
- la estratificación térmica de las aguas durante un gran período del año.

Los vientos provocan directamente desplazamientos de las aguas superficiales y luego, cuando cesan, engendran oscilaciones internas de grandes amplitudes (SEICHES). En este último caso las corrientes cambian de dirección rítmicamente (vaivén) y tienen una capacidad o poder de mezcla vertical muy importante, sin embargo la acción de los vientos sobre el eje de la profundidad se atenúa relativamente rápido en forma más o menos exponencial.

La estratificación térmica, que controla las mezclas verticales, tiene un efecto negativo. Proviene de las variaciones del calor proporcionado por las radiaciones solares durante el año. Estas radiaciones solares mantienen una reserva media anual de calor en el lago, pero según sus variaciones anuales hay en el medio acumulación o disipación de calor. Lo que se concreta por las variaciones de temperatura de las aguas y, por consiguiente, de sus densidades.

ORSTOM Fonus Documentaire
 N° : 36614, et 2
 Cote : A

Luego la densidad del agua aumenta cuando baja la temperatura y viceversa (hay compresión de las aguas). En consecuencia, las aguas más frías, que son las más pesadas, tienen tendencia a descender. Entonces en un lago de gran profundidad, las aguas del fondo tienen generalmente una temperatura más o menos igual a la temperatura más baja que pueden alcanzar las aguas superficiales en época fría.

Estas aguas son poco afectadas por el recalentamiento en época cálida porque el calor en el interior del lago se disipa en forma exponencial, en otras palabras, su propagación se atenúa muy rápidamente, por lo tanto, los cambios de calor se limitan a una capa superior dentro de la cual las aguas sufren modificaciones de densidad, la misma que es inferior o igual a la de las aguas profundas. En esta zona, al final del invierno, las aguas se recalientan y sus densidades vuelven a ser menores cuanto más cerca estén de la superficie.

Esta estratificación por densidad ofrece una resistencia a la mezcla de las aguas provocada por los vientos, resistencia que se puede calificar como térmica debido a su origen. Por otro lado, el efecto de la turbulencia de los vientos favorece enormemente la propagación del calor en el interior del lago.

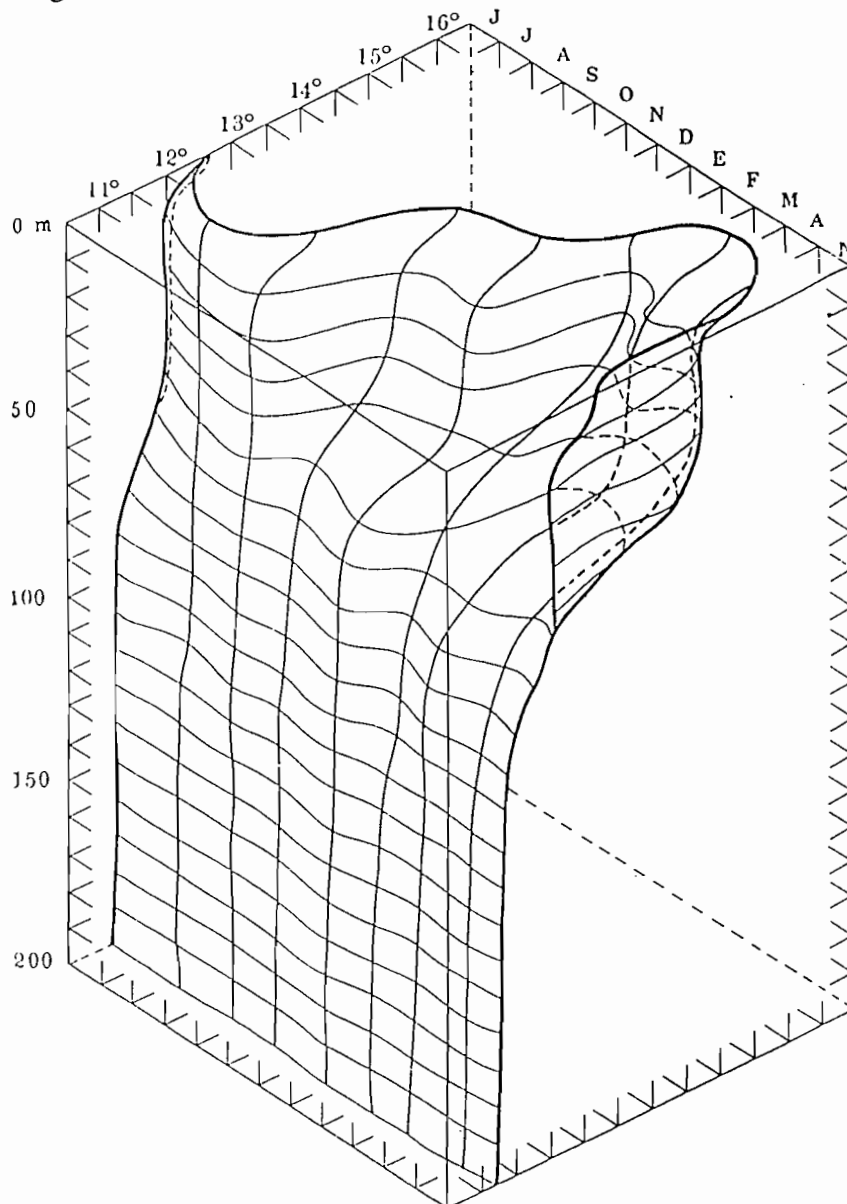


Fig. 1. - Perfiles verticales de temperaturas durante el año en la zona profunda del Lago Mayor.

Estos 2 efectos : la acción turbulenta de los vientos y la resistencia térmica encontrada, se reflejan en los perfiles verticales de temperatura (fig. 1 ; ver también capítulo V-4). Por la variación de temperatura hay entonces cambios en la densidad, esta estratificación ocasiona una barrera a la mezcla de las aguas, lo que juega un papel importante en la distribución estacional de algunos elementos químicos disueltos.

Estratificación química de las aguas

Es importante conocer las consecuencias de la estratificación térmica sobre los elementos disueltos (Oxígeno ; CO_2 y Sílice, principalmente), cuyas concentraciones varían de manera estacional en relación con la actividad biológica. Por un lado, las concentraciones de O_2 y CO_2 están reguladas respectivamente por la presión parcial atmosférica de O_2 y CO_2 ; por otro, por los procesos de producción de materia orgánica proveniente de la actividad fotosintética del plancton y de la degradación de la materia orgánica debido a las bacterias, existiendo consumo de CO_2 y producción de O_2 en el primer proceso, ocurriendo lo contrario en el segundo.

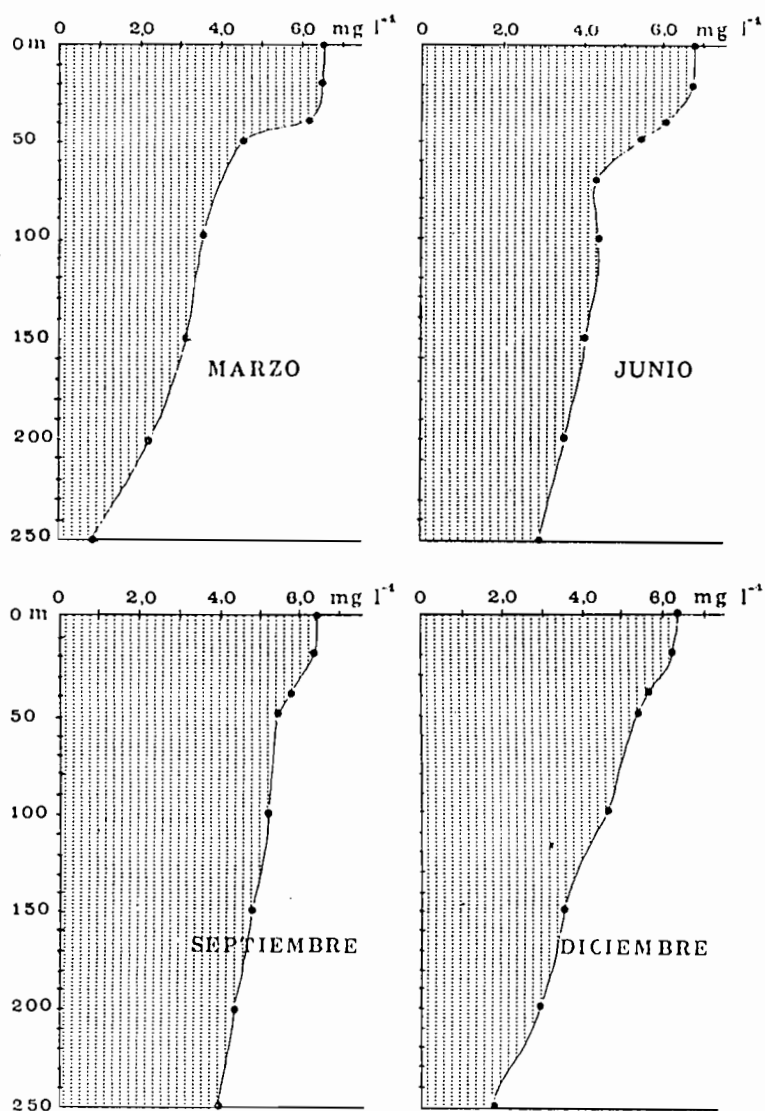


Fig. 2. - Perfiles verticales de O_2 en la zona profunda del Lago Mayor.

Así, se nota que de diciembre a enero (fig. 2) en los primeros 40 m, existe un incremento de O_2 , el cual puede provenir de un aumento de la fotosíntesis, pero es más lógico pensar que proviene de la mezcla de las aguas. Este aumento se vuelve más importante en marzo. En cambio a los 50 m, donde hay una fuerte barrera térmica, la caída de O_2 es brusca y viene del hecho de que una parte del plancton muere y se sedimenta parcialmente a este nivel cuya mineralización está acompañada de un fuerte consumo de O_2 . El resto del plancton baja hasta el fondo, durante su descenso continúa el proceso de descomposición, lo que explica la disminución del O_2 de acuerdo con la profundidad, desde diciembre a marzo.

En junio, la barrera térmica ha bajado hasta 60–70 m, encontrándose a este nivel una brusca caída de O_2 por las mismas razones que acabamos de explicar para el mes de marzo.

El efecto de la turbulencia de los vientos aumenta en profundidad y la difusión de O_2 hacia las aguas profundas, es así favorecida grandemente. Este fenómeno se acentúa enormemente entre agosto–septiembre cuando las turbulencias son máximas.

Para el análisis de la distribución del CO_2 disuelto de la superficie hacia el fondo, en el Lago Grande, se dispone actualmente de sólo 2 épocas : septiembre y diciembre, apreciándose fácilmente que su concentración presenta variaciones inversas a las del O_2 (fig. 3). Así, en diciembre hay un incremento de CO_2 proveniente de la acumulación del plancton muerto a nivel de la termoclina, luego la concentración crece con la profundidad.

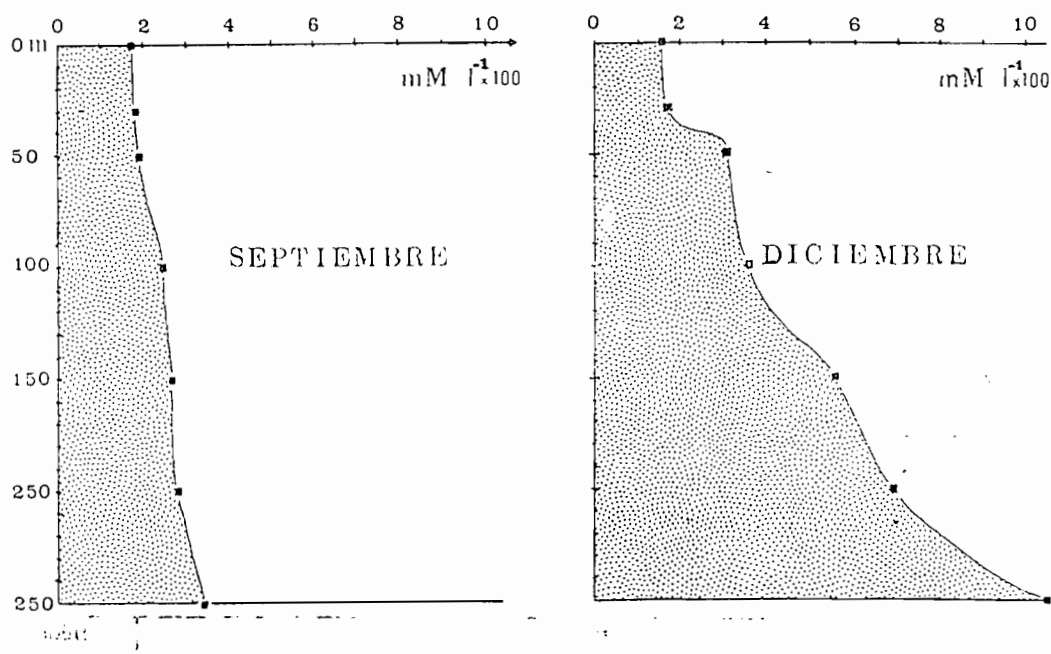


Fig. 3. - Perfiles verticales de CO_2 disuelto en la zona profunda del Lago Mayor.

En septiembre, época de máxima mezcla de las aguas, la difusión de CO_2 hacia la superficie es considerablemente acelerada, atenuándose el cambio de concentración según la profundidad.

En el caso de la sílice disuelta (fig. 4), se sabe que la regulación de este elemento en el Titicaca proviene de un consumo por las diatomeas, pero una parte de ésta se disuelve de nuevo cuando ellas mueren.

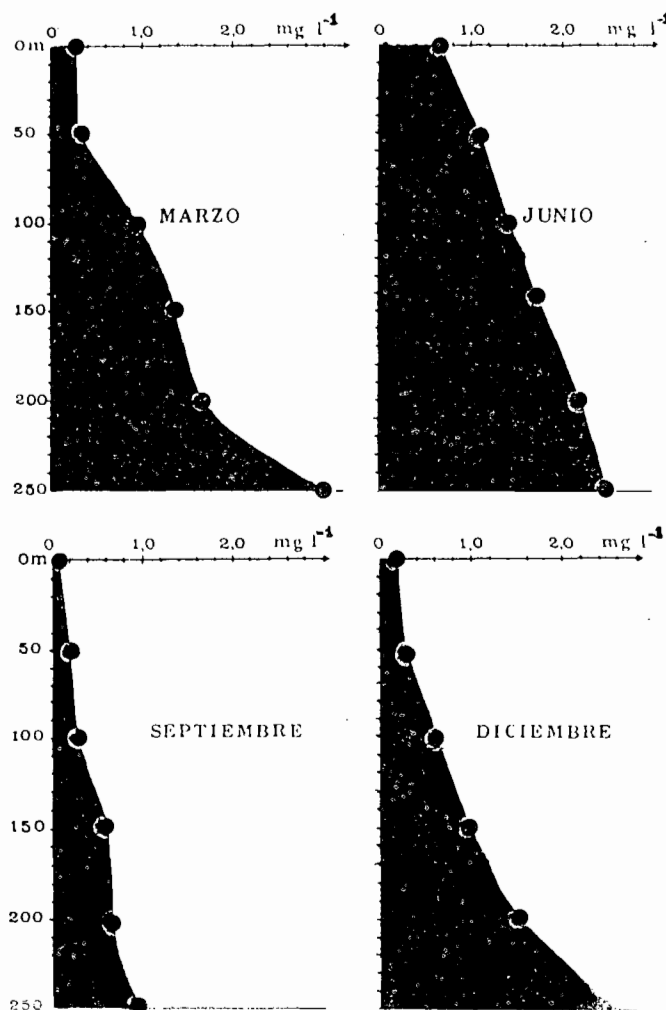


Fig. 4. - Perfiles verticales de $\text{SiO}_4 \text{H}_4$ en la zona profunda del Lago Mayor.

En diciembre, la concentración de sílice disuelta disminuye desde el fondo hacia la superficie de manera más o menos exponencial, esto proviene de la disolución en el fondo de los esqueletos silicosos de las diatomeas.

En marzo, este proceso continúa por simple difusión al no haber turbulencia en la zona profunda, en cambio, se nota que la barrera de los 50 m impide, parcialmente, la difusión hacia la superficie.

En junio, prosigue la difusión acentuándose por el hecho de que la barrera se vuelve más delgada, además porque en esta época la turbulencia aumenta favoreciendo la difusión.

RICHERSON *et al.* (1977) han demostrado que en julio y agosto hay una verdadera explosión del crecimiento de las diatomeas, las que consumen sílice disuelta, especialmente en la capa superior, creando un gradiente más acentuado de sílice del fondo hacia la superficie, favoreciendo la difusión hacia arriba.

La distribución de la concentración de sílice disuelta en septiembre ilustra bien este fenómeno de fuerte consumo.

Conclusiones

Se precisa la importancia de la mezcla de las aguas durante el año con la ayuda de los perfiles verticales de temperatura y sus consecuencias sobre la actividad biológica del plancton, mediante la distribución del O_2 y CO_2 ; y, sobre la actividad de las diatomeas por la distribución de la sílice disuelta. Aparece también que la mezcla de las aguas es activa en agosto y septiembre, favoreciendo enormemente la difusión de los elementos disueltos, y presentando un gradiente vertical de concentración. De esta manera, todo el medio acuoso permanece oxigenado, por lo tanto la mineralización de la materia orgánica es más completa en presencia de O_2 , que en su ausencia (en este caso último, habría una descomposición de la materia orgánica incompleta por fermentación).

El reciclaje de las sales nutritivas es total favoreciendo una mejor producción de materia orgánica en el medio lacustre. Lo mismo ocurre con la sílice, su rápida difusión del fondo hacia la superficie, por la disolución de los esqueletos silicosos, aumenta la posibilidad de desarrollo de las diatomeas.

El metabolismo del lago aparece finalmente bueno por dos razones principales. La existencia de estratificación térmica durante gran parte del año, constituye una barrera sobre la cual sedimenta el plancton muerto. Luego, a este nivel existe una mayor mineralización y consumo de O_2 ; por lo tanto, el resto del plancton muerto que cae hasta el fondo, necesita para su mineralización una cantidad de O_2 menor a la utilizada a nivel de la termoclina. Como la reoxigenación de las capas superiores es más fácil que en las profundas y como la mineralización se efectúa principalmente en la termoclina, la reoxigenación global del lago es más eficaz.

Por otro lado, esta barrera es muy débil debido al hecho de que la estratificación térmica o, en otras palabras, la resistencia térmica no es muy pronunciada porque la diferencia de temperatura entre el epilimnio y el hipolimnio es muy reducida (2-3 Grados Centígrados), ya que por lo general en otros lagos ella es mayor; eso favorece la circulación de los elementos químicos disueltos.